

Kristian Katilainen

UUDEN TUOTANTOLINJAN LAYOUT-SUUNNITTELU

UUDEN TUOTANTOLINJAN LAYOUT-SUUNNITTELU

Kristian Katilainen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

Tekijä: Kristian Katilainen

Opinnäytetyön nimi: Uuden tuotantolinjan layout-suunnittelu

Työn ohjaaja: Varatoimitusjohtaja Kirsi-Marja Kuusisto
Opettaja Tauno Jokinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017

Sivumäärä: 36 + 3 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli tuotantolinjan ja työpisteiden kehittäminen lean-ajattelun ja layout-suunnittelun avulla Aavi Technologies Oy:lle. Tavoitteena oli suunnitella tuotantolinjalle uusi ja tehokas toimintapa, jolla päästäisiin haluttuihin tuotantovaatimuksiin. Layoutin tärkeimmiksi tavoitteiksi määriteltiin tuotantolinja, joka mahdollistaisi tuotantokapasiteetin kasvattamisen, pullonkaulatekijöiden eliminoinnin ja sisälogistiikan uudelleensuunnittelun.

Työssä kartoitettiin ensin tuotantotilan nykytilanne, jonka kautta suurimmat ongelmat saatiin selville. Suurimmiksi ongelmiksi osoittautuivat testausalueen muodostama pullonkaula, varastoitavan materiaalin viemä tila lattiapinta-alasta ja sisälogistiikka. Kartoituksen jälkeen siirryttiin ongelmanratkaisuvaiheeseen. Ongelmien ratkomisessa oli oleellista ottaa huomioon materiaalivirtaukset, varastointi ja läpimenoajan määrittäminen. Ongelmanratkaisuvaiheessa edettiin PDCA-mallin mukaan (Plan Do Check Act, suomeksi suunnittele, tee, tarkista ja toimi), jolloin layout-suunnittelussa edettiin askel kerrallaan. PDCA on Demingin ongelmanratkaisumalli ja kehittämismenetelmä, jolla pyritään prosessien jatkuvaan parantamiseen.

Työssä suunniteltiin kaksi layout-mallia, jotka oli mahdollista toteuttaa Aavi Leaf -tuotteelle varattuun tuotantotilaan. Ensimmäinen layout-malli A suunniteltiin nykyisen tuotantotila-mallin kehittämiseksi, jossa keskityttiin poistamaan hukkatointoja ja muuttamaan tuotantoa työntöohjauksesta imuohjaukseen. Toinen layout-malli B esisuunniteltiin tulevaisuuden varalle mahdolliselle rullaradalle, jossa pyrittiin toteuttamaan kokonaisvaltaisesti lean-ajattelun mukaisia periaatteita.

Lean-ajattelun ja layout-suunnitteluun avulla päästiin asetettuihin tuotantovaatimuksiin. Tuotanto kasvoi kuusinkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna ja lattiapinta-alaa saatiin huomattavasti takaisin hyötykäyttöön varastoitavien materiaalien uudelleensijoittamisella. Sisälogistiikan uudelleensuunnittelulla saatiin poistettua paljon liikehukkaa, mutta sen kehittäminen lean-ajattelutavan mukaiseksi vaatii lisää työtä ja aikaa.

Asiasanat: lean-ajattelu, layout, tuotantolinja, suunnittelu

ALKULAUSE

Haluan kiittää Aavi Technologies Oy:n varatoimitusjohtaja Kirsi-Marja Kuusistoa opinnäytetyön aiheesta ja sen ohjauksesta. Työjohtaja Kai Toivasen käytännön kokemuksesta sain paljon apua tuotannonsuunnittelussa. Kiitän myös Aavi Technologies Oy:n tuotannon ja tuotekehityksen työntekijöitä, jotka auttoivat monessa tilanteissa.

Haluan vielä kiittää Oulun konetekniikan osastoa ja ohjaavaa opettajaa Tauno Jokista hyvistä neuvoista ja erilaisten näkökulmien esille tuomisesta.

Oulussa 17.4.2017

Kristian Katilainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ALKULAUSE.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Tutkimusongelma ja -suunnitelma	7
1.2 Aavi Technologies Oy.....	7
2 TUOTANNONSUUNNITTELUN TYÖKALUT	9
2.1 Lean-ajattelu.....	9
2.1.1 Seitsemän hukkaa -periaate.....	9
2.1.2 Virtaus ja toiminnan oikea-aikaisuus	10
2.1.3 Jatkuva parantaminen ja ongelmanratkaisu	12
2.1.4 Laatu.....	14
2.2 Layout-suunnittelu	15
2.2.1 Tuotantolinja.....	15
2.2.2 Funktionaalinen layout	16
2.2.3 Solu-layout	17
2.2.4 Layoutin valinta	17
3 UUDEN TUOTANTOLINJAN SUUNNITTELU.....	19
3.1 Nykytilanteen kartoitus.....	19
3.1.1 Osakokoonpanot	22
3.1.2 Runko- ja loppukokoonpano.....	23
3.1.3 Testaus ja pakkaus	24
3.2 Uuden tuotantolinjan ja työpisteiden suunnittelu PDCA-mallin mukaan.....	25
3.2.1 Suunnitelman tavoitteet ja haasteet (Plan).....	25
3.2.2 Toteutus (Do)	27
3.2.3 Tarkastelu (Check)	29
3.2.4 Layout-mallit (Act)	30
4 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	
Liite 1 Layout-alkutilanne	

Liite 2 Layout-malli A

Liite 3 Layout-malli B

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona ilmanpuhdistusjärjestelmiä valmistavalle Aavi Technologies Oy:lle. Tarkoituksena oli kehittää Aavin uuden tuotantolinjan materiaalivirtojen kulkua, tuotantotiloja ja parantaa tuotantolinjan yleisilmettä layout-suunnittelun avulla.

Tässä opinnäytetyössä esitellään tuotantolinjan suunnitteluun tarvittavia työkaluja, kuten lean-ajattelun ja layout-suunnitteluun pohjautuvaa teoriaa. Lean-ajattelun lähtökohtana on arvon tuottaminen asiakkaalle hukkien eliminoinnilla ja jatkuvan parantamisen periaatteella (1, s. 721). Layout-suunnittelulla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, varastojen ja käytävien sijainnit tehtaassa (2, s. 407).

1.1 Tutkimusongelma ja -suunnitelma

Aavi lanseerasi uuden kuluttajamarkkinoille suunnatun Leaf-tuotteen joulukuussa 2016 (3). Varsinainen työ aloitettiin kuukausi tuotteen massatuotannon ylösajon jälkeen. Tuotantolinjassa oli paljon kehitysmahdollisuuksia, koska työvaiheistukset perustuivat vain teknisiin piirustuksiin ja laskuihin. Koska tuotanto ei vastannut odotettua tuottoa, alettiin purkaa tilannetta tuotantolinjan haittaa aiheuttavista selkeimmistä ja kriittisimmistä kohdista. Suurimmat ongelmat, joihin suunnittelun aikana tuli paneutua, liittyivät materiaalien tilanpuutteeseen, tuote- ja materiaalivirtauksiin sekä pulonkaulatekijöihin.

Opinnäytetyön pääpaino on tuotantolinjan ja työpisteiden layout-suunnittelussa. Suunnittelun apuna käytetään lean-ajattelua ja layout-suunnittelua, joiden avulla pyritään tuotantolinjan kustannustehokkaaseen ja kevyeen toimintaan. Tuotantolinjan suunnittelun pohjalla käytetään PDCA-mallia, jotta toteuttamisen rakenne tulisi johdonmukaiseksi. PDCA on Demingin ongelmanratkaisumalli ja kehittämismenetelmä, jolla pyritään prosessien jatkuvaan parantamiseen.

1.2 Aavi Technologies Oy

Aavi on suomalainen sisäilmapuhdistimia valmistava kasvuyritys, jonka omistaa kiinalainen ympäristötekniikan konserni SNETS Ltd. Yritys toimii ilmanpuhdistusalan kansainvälisillä markkinoilla

päämääränään taata puhdas ilma sisätiloissa ja hallita päästöjä teollisuudessa. Yrityksen ilmanpuhdistusjärjestelmän etuna on keksijä-perustaja Veikko Ilmaston patentoitu AAVI®-teknologia, joka yhdistää sekä kaasujen imeytymisen että hiukkasten ja ionien poistot ilman varsinaista suodatinta. Yrityksen pääkonttori ja tuotantotilat sijaitsevat Helsingin Herttoniemessä. Tuotteiden suuren kysynnän vuoksi Kiinassa on myös myynti- ja huoltotiimi. (4.)

Aavin tuotevalikoimaan kuuluvat pääasiassa neljä erilaista sarjavalmisteista ilmanpuhdistinta, ja näiden lisäksi valmistetaan erikoisratkaisuja sisätilojen koon ja puhdistustarkkuuden mukaan. Tuotanto Helsingissä on jakaantunut kahteen tuotantotilaan. Toisella puolella valmistetaan suurlaitteet Aavi 600, 1000, 2000 ja erikoisratkaisut ja toisella puolella kotitalouksille suunnattu Aavi Leaf. (3.)

Aavi on perustettu vuonna 1983, ja siitä on vuosien aikana kehittynyt ja kasvanut dynaaminen ryhmä ilmanpuhdistusalan suunnittelijoita, insinöörejä, tutkijoita ja markkinoinnin asiantuntijoita. Yrityksen alkuperäinen nimi oli Moria, mutta nimi muutettiin Aavi Technologies Oy:ksi vuonna 2012. Yrityksen menestys ilmanpuhdistusalalla pohjautuu keksijä Veikko Ilmaston innovaatioihin. Ilmaston perusti ensimmäisen yrityksensä vuonna 1991, jonka jälkeen hän perusti vielä kaksi muuta ilmanpuhdistukseen erikoistunutta yhtiötä. Ilmaston viimeisin patentoitu innovaatio AAVI®-teknologia loi mahdollisuudet perustaa Aavi Technologies Oy:n. Tästä ansiosta Aavi on saanut 25 vuoden aikana vankan kokemuksen ilmanpuhdistuksesta. Beijing Synergy New Energy Technology Service (SNETS), jolla on vahva asema Kiinan markkinoilla, osti Aavi Technologies Oy:n osake-enemmistön elokuussa 2013. Siitä lähtien Aavin toiminta on pääasiassa keskittynyt ilmanpuhdistimien tuotekehitykseen ja valmistamiseen. Markkinointi ja myynti tapahtuvat Kiinassa. SNETS loi Aaville mahdollisuuden keskittyä liiketoimintansa kehittämiseen ja perehtymään syvemmin Kiinan markkinoiden tarpeisiin. Kiinalaisen ympäristöteknologia konsernin päämääränä on investoida cleantech-bisnekseen ja auttaa yhtiöitä pääsemään Kiinan markkinoille. Yrityksen ansiosta Aavi Technologies Oy:n uusi aikakausi on alkanut ja jatkuu nykypäivänä. (4.)

2 TUOTANNONSUUNNITTELUN TYÖKALUT

2.1 Lean-ajattelu

Lean-ajattelu perustuu Taaichi Ohnon kehittämään Toyotan tuotantojärjestelmään. Tuotantojärjestelmän periaate perustuu siihen, että luodaan asiakkaalle arvoa hukkatointojen eliminoinnilla. Hukkatoinnolla tarkoitetaan tuotteeseen sisältyviä toimintoja, jotka eivät tuota arvoa asiakkaalle. Lean-ajattelun tuotantotavassa on pyrkimyksenä, että tuotetaan enemmän vähentämällä työntekijöitä ja varastotilaa. (1, s. 721.) Lean-ajattelu tuotantotermin on keksinyt James Womack ja Daniel Jones heidän kuvaillessaan Toyotan tuotantojärjestelmää (5). Seuraavaksi esitellään lean-ajattelun teoriaa, joihin kuuluvat seitsemän hukkaa -periaate, tuotannon virtaus ja toiminnan oikea-aikaisuuden merkitys sekä jatkuvan parantamisen, ongelmanratkaisujen ja laadunhallinnan työkalut.

2.1.1 Seitsemän hukkaa -periaate

Lean-ajattelun yksi tärkeimmistä piirteistä on hukkien eliminointi. Seitsemän hukkaa -periaate, japaniksi mudaa, koostuu seitsemästä toiminnosta, jotka eivät tuota lisäarvoa tuotteelle tai palvelulle. Kuvassa 1 on esitetty hukkatoinnot, joita ovat ylituotanto, odottaminen, kuljettaminen, työstäminen, varastointi, liikkuminen ja virheet. (1, s. 722.)



KUVA 1. Seitsemän hukkaa, jotka esiintyvät tuotannossa (1, s. 722)

Ylituotantohukka tarkoittaa tilannetta, jossa tuotteita tehdään enemmän kuin mitä tarvitsisi. Ylituotantoa muodostuu usein koneiden tai työvaiheiden välissä. Ne kasvattavat keskeneräisen tuotannon arvoa eikä niitä voida heti käyttää tai myydä. Odottamisen hukka muodostuu, kun tuote joutuu odottamaan osia tai sitä, että työntekijä odottaa seuraavaa työstettävää tuotetta tai tehtävää. Työnteon viivästyminen ja näin ollen odottaminen vaikuttavat suoraan tuotteen läpimenoaikaan, jolloin tuotteen kappalehinta kasvaa. (1, s. 722.)

Materiaalien kuljettaminen edestakaisin, niiden lisätarkastus, hyväksyminen ja pitkät matkat aiheuttavat odottamista sekä hidastavat tuotteen läpimenoaikaa. Tuotteen työstämisessä voi olla vaihteita, jotka eivät luo arvoa tuotteelle. Työstäminen voi tarkoittaa myös yliprosessointia eli tehdään enemmän työtä tai laadukkaampia tuotteita kuin mitä asiakas vaatii. Varastossa materiaalien varastointi, noutaminen, laskeminen, varmistaminen, tilan määrittäminen ja rahan sitominen materiaaleihin luovat hukkaa. Varastokustannuksia määräytyy esimerkiksi varaston ylisuuresta koosta tarpeeseen nähden ja varastoitavien materiaalien vanhenemisesta. Työpisteellä liikkuminen, kuten työkalujen ja osien etsiminen, luo tarpeetonta edestakaista liikettä. Myös vaikea työasento, kurottaminen ja kääntyminen hidastavat liikettä ja näin luovat hukkaa. Virheiden takia joudutaan näkemään vaivaa uudelleenkorjauksessa, hylkytavaroissa ja virheellisen informaation kulkeutumisessa. (1, s. 722.)

2.1.2 Virtaus ja toiminnan oikea-aikaisuus

Virtauksen ja toiminnan oikea-aikaisuudella tarkoitetaan tuote- ja materiaalivirtauksien kehittämistä aikaa säästäväksi ja virtauksia selkeyttäväksi toiminnoksi. Toiminnoilla pyritään, että tuote tai materiaali saapuu ja lähtee juuri oikean tarpeen mukaisesti. Tutumpi ja laajempi käsitys tälle on JIT eli Just-in-time. Ritvanen (6, s. 60) kirjoittaa

”JITin tavoitteena on kysynnän ja tarjonnan tasapaino niin että varastointia ei tarvita ja materiaalit toimitetaan suoraan käyttöpisteisiin.”

JIT-tuotannossa tuotteita voidaan valmistaa suuria määriä eikä työntekijöiltä vaadita korkeaa osaamista. JIT-tuotannon ongelmana on kuitenkin sen riippuvuus alihankkijoihin. Alihankkijoiden valmistamien materiaalien uupuminen tuotannosta aiheuttaa tuotantolinjaan katkoksia. Sekine (7) kuvailee kirjassaan, että Japanissa kehittynyt JIT-tuotanto seurasi kolmea olennaisinta ominaisuutta, jotka olivat pull production, one-piece flow ja multiprocess handling.

Normaali ja vanhentunut käytäntö on push production eli työntöohjaus. Pull productionilla eli imuohjauksella ohjataan tuotannon välisiä tuote- ja materiaalivirtauksia. Koska haluttiin keskittyä tasaisempaan virtaukseen sekä päästä eroon ylituotannosta, otettiin tuotannossa käyttöön imuohjaus. Rother ja Shook (8, s. 71) kirjoittavat, että jos pyrkimys on saada jatkuva virtaus toimimaan tuotantolinjassa, se vaatii imuohjauksen.

Jatkuvan virtauksen saavuttaminen ei aina ole mahdollista prosessin läpimenoaikojen eroavaisuuden takia, ja tämän takia tuotantoerien valmistaminen on tarpeellista. Kuitenkin hyvä tapa lähestyä jatkuvaa virtausta toteuttaen samalla tuotantoerien valmistusta on ottaa FIFO tai supermarkettiin perustuva imuohjaus käyttöön. FIFO eli First in First outissa materiaalit käytetään varastoon tulojärjestyksessä. Supermarket taas toimii siten, että kun otetaan hyllystä jokin materiaali, niin sitä mukaan sinne valmistetaan taas uusi vastaava materiaali. Toimintaperiaate on sama kuin nykypäivänä hampurilaisten valmistaminen pikaruokaravintoloissa, kuten McDonald'sissa tai Hesburgerissa. Näillä kahdella toiminnolla voidaan saavuttaa prosessin luotettavampi toiminta sekä pienentää asetusajoja. (8, s. 39.)

One-piece flow'lla, joka on tehokkain tapa valmistaa tuotteita, pyritään valmistamaan yksi kappale kerralla. Tuotantotavassa valmis kappale siirretään saman tien ensimmäisestä vaiheesta toiseen vaiheeseen, jonka jälkeen sitä aletaan heti työstämään. Tällä pyritään siihen, ettei hukkaa syntyisi työvaiheiden välissä (9). Multiprocess handlingillä tarkoitetaan, että työntekijän tehtävänä tuotannossa on suoriutua useamman koneen hoitamisesta yhtäaikaaisesti. Sekinen (1990) tekemän tutkimuksen mukaan amerikkalaiset kehittivät työntekijöitään niin, että tuotannontyöntekijät erikoistuivat vain tiettytyyppiseen työtehtävään. Japanilaiset sen sijaan päättivät kouluttaa työntekijänsä useisiin erityyppisiin työtehtäviin, ja siitä on tullut käsitys multiprocess handling. Nykyään multiprocess handling näkyy tuotannossa yhden työntekijän hoitaessa useampia koneita. (7, s. 2)

Kapeikkoajattelu, englanniksi Theory of Constraints (TOC), on ajattelumalli, jossa keskitytään tuotannon heikkojen kohtien löytämiseen ja niiden rikkomiseen. Kapeikkoajattelussa oletetaan prosessin heikoimman kohdan määrittävän tuotannon läpimenoajan eli prosessin nopeuden. Heikkoihin kohtiin panostamalla ja niiden poistamisella voidaan tehostaa koko tuotantolinjaa. (10.)

Tuotannon tasapainottaminen on tärkeää. Tuotteen läpimenoajat eri prosesseissa voi vaihdella huomattavasti, jolloin tuotanto on epätasapainossa. Esimerkkinä hitsaus voi kestää puolet vähem-

män kuin kokoonpaneminen ajallisesti. Kun prosesseja ei ole tasapainotettu, tuotanto ei toimi tehokkaasti. Prosesseja mittaamalla ja arvioimalla tasapainotetaan tuotantoa. Kun työntekijä on hoitanut prosessinsa ja hänellä jää ylimääräistä aikaa, tulisi hänen samalla suorittaa toista työtä. Tällä tavalla saadaan samassa ajassa enemmän työaikaa tehdä muuta, toisin kuin tilanteessa, jossa jokainen työntekijä tekee aina vain samaa työtä ja odottaa seuraavaa työstettävää. Tasapainottamisen etuna on, että vähemmällä työntekijämäärällä saadaan enemmän tulosta aikaan ja samalla säästetään kustannuksissa. (8, s. 54–55.)

Asetusaikojen minimointi on olennaista JIT-tuotantoon siirryttäessä. Shigeo Shingo, Toyotalle toiminut konsultti, kehitti metodin minimoidakseen asetusaikoja ja metodin nimeksi muodostui SMED eli single-minute exchange of dies. SMED on nelivaiheinen prosessi, joka soveltuu mihin tahansa asetustajan tutkimiseen. Ensimmäisessä vaiheessa sisäiset asetukset erotellaan ulkoisista asetuksista. Toisessa vaiheessa sisäiset asetukset pyritään muuttamaan ulkoisiksi. Kolmannessa vaiheessa kaikki asetukset pyritään virtaviivaistamaan, kuten paikallistamalla työkaluja työpisteellä ja käyttämällä esiasetuksia, jotka nopeuttavat asetusten vaihtoa. Viimeisessä ja neljännessä vaiheessa asetustoiminnot pyritään suorittamaan rinnakkain tai poistamaan ne kokonaan. (1, s. 730–732.)

Rinnakkain suorittaminen on esimerkiksi työn asetusten vaihdon suorittamista kahdella työntekijällä yhden sijasta, ja poistamisella tarkoitetaan työn standardointia, ettei asetuksia tarvitsisi vaihtaa ollenkaan. Sisäisiä asetustoimintoja ovat ne, joita voidaan tehdä vain, kun prosessi tai kone on pysäytetty. Ulkoisia ovat taas ne toiminnot, joita voidaan tehdä prosessin tai koneen ollessa käynnissä. (1, s. 730–732.)

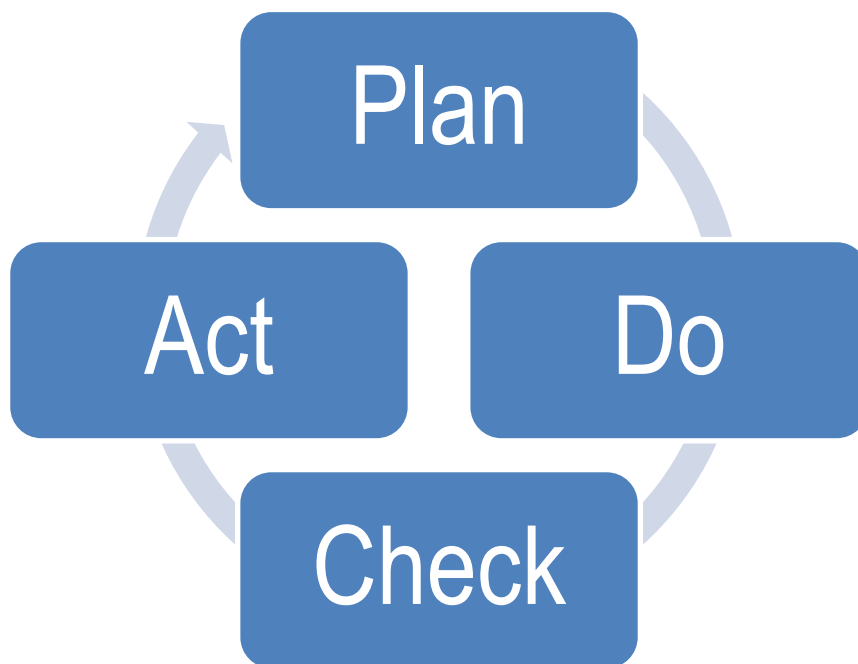
2.1.3 Jatkuva parantaminen ja ongelmanratkaisu

Kaizen tarkoittaa jatkuvaa parantamista, joka on johtamisjärjestelmä Lean-ajattelussa laadunhallintaa varten. Kaizen-termi tulee sanoista Kai – Change ja Zen – Good, jotka yhdessä muodostavat tarkoituksen continuous improvement. Kaizen ei ole ainoastaan vain tarkoitettu työpaikalle vaan, kuten Russel ja Taylor (1, s.71) mainitsevat:

”Kaizen is the Japanese term for continuous improvement, not only in the workplace but also in one’s personal life, home life, and social life.”

Jatkuvalla parantamisella pyritään yrittämisestä ja virheistä ottamaan oppia, jonka kautta toimintoja lähdetään parantamaan. Tavoitteena on eliminoida hukka ja yksinkertaistaa toimintoja. Jatkuvan parantamisen sisällyttäminen organisaatioon vaatii enemmän kuin ammattilaisten näkökulmien antamista johdolle. Sisällyttäminen täytyy aloittaa tasoittain ja saada ajettua sisään jokaiselle henkilölle organisaatiossa, jotta työntekijät olisivat halukkaita havaitsemaan laatuongelmia, tuottamaan parannusehdotuksia ja parantaa heidän työrutiineja. (1, s. 72, 736.)

PDCA eli Plan Do Check Act, suomeksi suunnittele, tee, tarkista ja toimi, on Demingin ongelmanratkaisumalli sekä kehittämismenetelmä, jolla pyritään prosessien jatkuvaan parantamiseen. Johnsonin (11, s. 45) mukaan PDCA opettaa organisaatiota suunnittelemaan toiminta, toteuttamaan sen, tarkistamaan miten se mukautuu suunnitelmaan ja toimimaan sen pohjalta, mitä on opittu. Kuvassa 2 esitellään PDCA:n nelivaiheinen ympyrä, jonka avulla organisaatiossa toteutetaan parannusta tai muutosta.



KUVA 2. PDCA ongelmanratkaisumalli (11, s. 45)

Plan- eli suunnitteluvaiheessa tunnistetaan mahdollisuus tai ongelma, jota analysoidaan. Tämän jälkeen siirrytään Do- eli tekemisen vaiheeseen, jossa kehitetään ratkaisu, testataan sitä ja implementoidaan ratkaisu. Check- eli tarkistusvaiheessa tarkastellaan ratkaisua ja analysoidaan sen tuloksia sekä opittuja asioita. Siinä myös tarkastellaan, päästiinkö haluttuun tavoitteeseen. Act- eli toimintavaiheessa lähdetään tarkistusvaiheesta opittujen tulosten pohjalta ottamaan ratkaisuja

käyttöön. Jos muutos on onnistunut, standardoidaan se organisaation toimintaan, ja jos epäonnistunut, käydään PDCA-ympyrämalli uudestaan läpi erilaisella suunnitelmalla. (11, s. 45.)

2.1.4 Laatu

5S-malli on Kaizenin jatkuvaan parantamiseen kuuluva laatutyökalu, jolla pyritään parantamaan työpisteen visuaalista toimivuutta. 5S-mallissa keskitytäänkin parantamaan visuaalista ohjausta, järjestystä, puhtautta ja standardisointia. Se jakaantuu viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat: Sort (*Seiri*), Set in Order (*Seiton*), Shine (*Seiso*), Standardize (*Seiketsu*) ja Sustain (*Shitsuke*). (12.)

Ensimmäiset kolme vaihetta kuuluvat päivittäisiin toimintoihin. Sort-vaiheessa työkalut erotellaan ja esille jätetään vain kaikkein tärkeimmät työkalut. Apuna työkalujen erotteluun voidaan käyttää Red Taggingiä eli merkitään ja luokitellaan työkalut punaisilla lapuilla. Red Taggingin avulla voidaan tarvittut ja ei-tarvitut työkalut erotella kätevästi (13).

Set in Order eli järjesteleminen, keskittyy työpisteen työturvallisuuteen, liike- ja kuljettamishukan poistoon, standardisointiin ja työkalujen ryhmittelyyn. Liikeshukan poistolla pyritään selvittämään työntekijän turhat liikkeet työnteon aikana. Kuljettamishukan poistossa taas työpiste, työalue ja varaston layout suunnitellaan siten, että työn tekeminen virtaviivaistuu ja nopeutuu. Standardisoinnilla tarkoitetaan työkalujen värikoodausta tai ääriiviivausta, eli uusi työntekijä tietää mihin mitäkin työkalua käytetään ja minne se kuuluu.

Shine tarkoittaa puhdistamista ja sillä pyritään työpisteiden ja -välineiden päivittäiseen ylläpitoon ja kunnossapitämiseen. Viimeiset kaksi vaihetta on tarkoitus toteuttaa aina samalla tavalla. Standardize eli standardisointivaiheen tarkoituksena on ylläpitää kolmea ensimmäistä vaihetta. Vaiheiden pääpaino tulisi olla puhdistamisessa. Standardisoinnin apuna voidaan käyttää 5S-mallin työkaaviota, -karttaa tai -aikataulua. Viimeinen vaihe Sustain tarkoittaa kaikkien vaiheiden ylläpitämistä ja Kaizen-tyylistä jatkuvan parantamisen avulla 5S:n kehittämistä. (14.)

5S-mallin vaikutukset ovat välittömiä ja välillisiä. Välittömiä, toisin sanoen suoria, syitä ovat miellyttävä työympäristö, parempi työtyytyväisyys, yhteisen tekemisen luovuus ja työntekijöiden pääse-

minen paremmin toimintatavan sisään. Välillisiä, toisin sanoen epäsuoria, taas ovat parempi tuotannon laatu, nopeammat läpimenoajat, pienemmät kustannukset, vähemmän työtapaturmia ja parempi asiakastyytyväisyys.

Laadun visuaalisen ohjaamisen työkaluna käytetään Poka-Yokea. Se on japanilaisten kutsuma tekniikka, jossa laitteella tai mekanismilla ehkäistään virheitä tuotannossa. Poka-Yokessa tarkoituksena on suunnitella tuotantolinja tai tuote toimimaan niin, ettei virheitä tapahtuisi tai virhe ei etenisi seuraavaan prosessiin. Esimerkiksi laitteet voidaan asettaa sensoreiden avulla pysäyttämään määrätyn valmistusmäärän jälkeen tai tuotteet suunnitellaan siten, että niitä ei voida liittää väärin. (15.)

2.2 Layout-suunnittelu

Layoutilla tarkoitetaan sitä, miten tuotantotila on järjestetty ja missä sijaitsevat tuotannossa olevat laitteet, työpisteet, kulkureitit, varastot sekä muut tarvittavat asiat. Tuotannon layout vaatii usein paljon aikaa, työtä ja rahaa, eikä sen muuttaminen ole helppoa. Tämän takia layout-päätöksen merkitys on suuri tuotannon kannalta. (16.)

Hyvä tuotannon layout

- on turvallinen työntekijöille ja vierailijoille
- on suunniteltu siten, että materiaalivirrat ovat selkeitä ja tehokkaita: materiaalit ja tuotteet eivät kulje edestakaisin tai pitkiä matkoja; useimmiten suora tai U:n muotoinen materiaalivirtaus on tehokas
- hyödyntää tuotantotilan tehokkaasti
- minimoi läpäisyaikaa ja työntekijöiden turhia liikkeitä
- kasvattaa laatua (16).

2.2.1 Tuotantolinja

Tuotantolinjassa työnkulku on selkeää. Siinä koneet ja laitteet asetellaan valmistettavan tuotteen työnkulun mukaiseen järjestykseen. Tuotantolinjamalli on yleensä erikoistunut tietyn tuotteen valmistamiseen. Tuotteen valmistus ja käsittely ovat yleensä hyvin automatisoitua ja tehokasta. Tuo-

tuotantolinjoissa voidaan myös käyttää erilaisia mekaanisia kuljettimia, joiden avulla materiaalit siirtyvät. Oleellisia ehtoja tuotantolinjan rakentamiselle ovat suuri volyymi ja korkea kuormitusaste. Suurien valmistusmäärien ansiosta tuotteen yksikköhinta saadaan alhaiseksi, vaikkakin tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat korkeat. Tuotantolinjan heikkous on sen häiriönsietokyky, koska koko linjan tuottavuus reagoi nopeasti pieniinkin häiriöihin. (2, s. 407.)

Tuotantolinjan laadunvalvonta on tärkeää, koska linja kykenee tuottamaan virheellisiä tuotteita tehokkaasti ja näin häiriön aiheuttamat kustannukset voivat kasvaa suuriksi. Kun tuotantolinjan koko ja muoto ovat päätetty, kapasiteetin kasvattaminen on vaikeaa toteuttamisen jälkeen. Tuotantosarjat ovat useimmiten pitkiä, koska tuotteen A valmistamisesta vaihtaminen tuotteeseen B vaatii usein pitkän seisokkiajan. Linjan tuotannonohjauksesta helpoksi tekee selkeä työnkulku ja sen ohjaus yhtenä kokonaisuutena. (2, s. 408.)

2.2.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa eli prosessilähtöisessä layouteissa pyritään samat toiminnot ryhmittelemään yhteen. Esimerkiksi hiominen, hitsaus, metalliosien valmistus, loppukokoonpano ja pakkaus ovat omia osastojaan. Tällaisessa layoutissa materiaalivirrat ovat monimutkaisia ja läpäisyajat pitkiä, jotka vaativat paljon ohjausta. Funktionaalinen layout kuitenkin sallii laajan ja erilaisen tuotekirjon. (16.)

Funktionaalisessa layoutissa tuotantomääriä ja tuotemalleja voidaan joustavasti vaihdella, koska koneet ja laitteet pyritään valitsemaan siten, että ne suoriutuvat joustavasti erityyppisistä tehtävistä. Tarkoituksena on valmistaa tuotteet yksittäiskappaleina tai sarjoina. Automaatiota voidaan soveltaa rajoitetusti funktionaalisessa layoutissa sen toisistaan eroavien työnkulkujen takia. Tuotannonohjaus perustuukin eri koneille jonottavien töiden järjestelyyn. Töiden ohjaaminen työvaiheesta toiseen on hankalaa, etenkin kun pyritään oikea-aikaisuuteen. Kun oikea-aikaiseen ohjaamiseen ei päästä, kasvattavat työjonot keskeneräistä tuotantoa ja pidentää siten tuotannon läpäisyaikaa. Työpisteiden välisien pitkien etäisyyksien takia materiaalien kuljetus- ja käsittelykustannukset voivat muodostua suuriksi. Funktionaalisessa layoutissa laadunhallinta on hankalaa, kun työnvaiheiden välivarastojen ja työpisteiden välinen etäisyys voi olla suuria. (2, s. 408.)

Kapasiteetin kasvattaminen on joustavaa, kuten erilaisten tuotteiden valmistus. Tämän takia funktionaalisen layoutin toteuttaminen on helppo päätös ja se vielä on halvempi vaihtoehto verrattuna tuotantolinjaan. Tuottavuudessa funktionaalinen layout on heikompi kuin tuotantolinja, koska siinä kuormitusaste jää keskimääräistä matalammaksi. (2, s. 408.)

2.2.3 Solu-layout

Solu-layout on itsenäinen, koneista ja työpaikoista muodostuva ryhmä, joka on erikoistunut valmistamaan osia tai suorittamaan työvaiheita eroteltuna muusta tuotannosta. Solu-layoutia voidaan kutsua eräänlaiseksi välimuodoksi funktionaalisesta layoutista ja tuotantolinjasta. Siinä on selkeä materiaalivirta eikä siinä esiinny välivarastoja. Soluille on ominaista lyhyet läpäisy- ja asetusajat, kun siirrytään tuotteesta toiseen. Solu-layout mahdollistaa valmistamaan tuotteita joustavasti, joiden valmistukseen se on nimenomaan suunniteltu. Solu on siis tehokkaampi järjestelmä verrattuna funktionaaliseen layoutiin ja se on joustavampi kuin tuotantolinja. (2, s. 409.)

Solulayoutin tuotannonohjaus on kevyttä ja helppoa, koska sillä on vain yksi kuormituspiste. Se mahdollistaa suuren vaihtelun eri tuotteiden tuotantomäärissä ja eräkoissa. Tuotteita valmistetaan siis yksittäiskappaleina tai pieninä sarjoina. (2, s. 410.)

Laadunvalvontaa voidaan helpottaa suorittamalla eri valmistusvaiheet peräkkäin samalla alueella. Valmistuksessa ilmenevät virheet ovat helppo löytää ja korjata. Kuormitusasteet voivat huomattavasti vaihdella koneilla ja laitteilla solun sisällä, mutta keskimäärin ne pysyvät alhaisempana kuin tuotantolinjalla. Solulayout on herkkä kuormituksen vaihteluille ja tuotevalikoiman voimakkailla muutoksilla, kun verrataan funktionaaliseen layoutiin. Soluvalmistuksessa työntekijöillä itsellä on mahdollisuus vaikuttaa keskinäiseen työnjakoon ja tehtävien kierrättämiseen. He vastaavat ryhmänä tehtäviensä suunnittelusta ja suorittamisesta, minkä takia solua on perusteltu työntekijöiden motivaation ja tuottavuuden nousulla. (2, s. 410.)

2.2.4 Layoutin valinta

Se minkälainen layout valitaan tehtaalle, mukautuu tuotevalikoiman laajuuden ja tuotettavien määrien perusteella. Edellä mainituilla kolmella layout-tyypeillä on etuja eri tuotantotapoihin. Esimer-

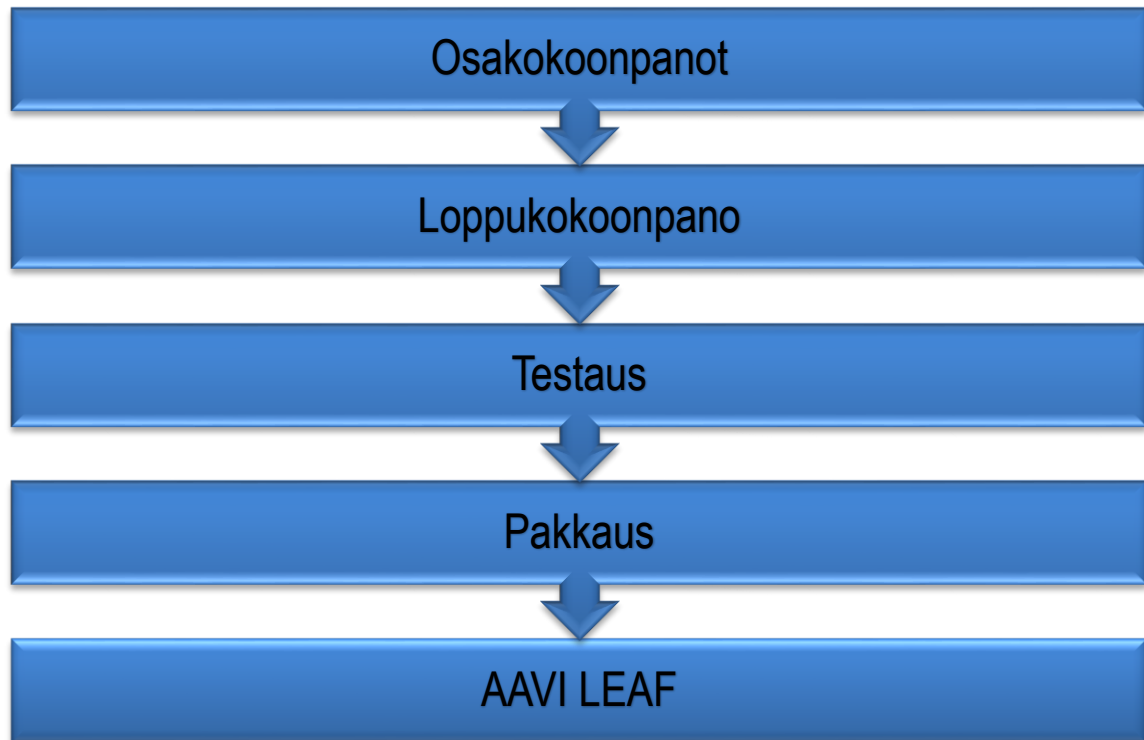
kiksi tuotantolinja-layoutia sovelletaan, kun tuotetaan suuria määriä samanlaisia tuotteita. Funktionalista layoutia, kun tuotevalikoima on suuri ja tuotantomäärät ovat pienet. Ja solu-layoutia, kun eri tuotteita halutaan valmistaa toistuvasti ja joustavasti, mutta kuitenkin sellaisissa määrissä ettei tuotantolinja ole taloudellisesti kannattava hanke. (2, s. 411.)

Tehtaan layoutin kokonaisuus muodostuu erityyppisistä osalayouteista. Tuotantoprosessit useimmiten määräävät minkä tyyppistä layoutia käytetään. Esimerkiksi loppukokoonpano tehdään tuotelinjalla, mutta osakokoonpanot valmistetaan joko funktionaalisessa- tai solulayoutissa. Funktionalisesti järjestetty konepaja mahdollistaa sen, että osa valmistuksesta voidaan organisoida erilaiksi soluiksi. Tällä tavalla tuotteiden tyyppi tai tuotantomäärä poikkeavat huomattavasti toisistaan ja voidaan soveltaa erilaisia layouteja tehtaassa. Valmistuksen joustavuutta on saatu nykypäivänä lisättyä modernilla tuotantoautomaatiolla. Moderni tuotantoautomaatio helpottaa esimerkiksi erilaisten tuotteiden tai tuotantomäärien saavuttamisen sekä joustavuuden tuotantolinjalla, kun asetusajoja on saatu hiottua alhaisiksi. Kun yhdistetään riittävä määrä tuotteita samanlaiseen valmistusprosessiin, on mahdollista saavuttaa oikea tuotantomäärä solun tai tuotantolinjan muodostamiselle. (2, s. 411.)

3 UUDEN TUOTANTOLINJAN SUUNNITTELU

3.1 Nykytilanteen kartoitus

Tuotantolinjaan tutustuminen aloitettiin nykytilanteen kartoituksella. Tarkoituksena oli oppia eri tuotantovaiheet ja niihin liittyvät toimenpiteet, jotta saataisiin kokonaiskuva tämän hetkisestä tilanteesta ja sen toiminnasta (kuva 3). Kartoituksen perustana oli tunnistaa nykyisen toimintamallin ongelmat ja ottaa ne huomioon uuden tuotantolinjan layout-suunnittelussa. Työtä aloittaessa esille tuli useita huomioon otettavia asioita, joita täytyisi jatkossa parantaa tuottavuuden parantamisen mahdollistamiseksi.

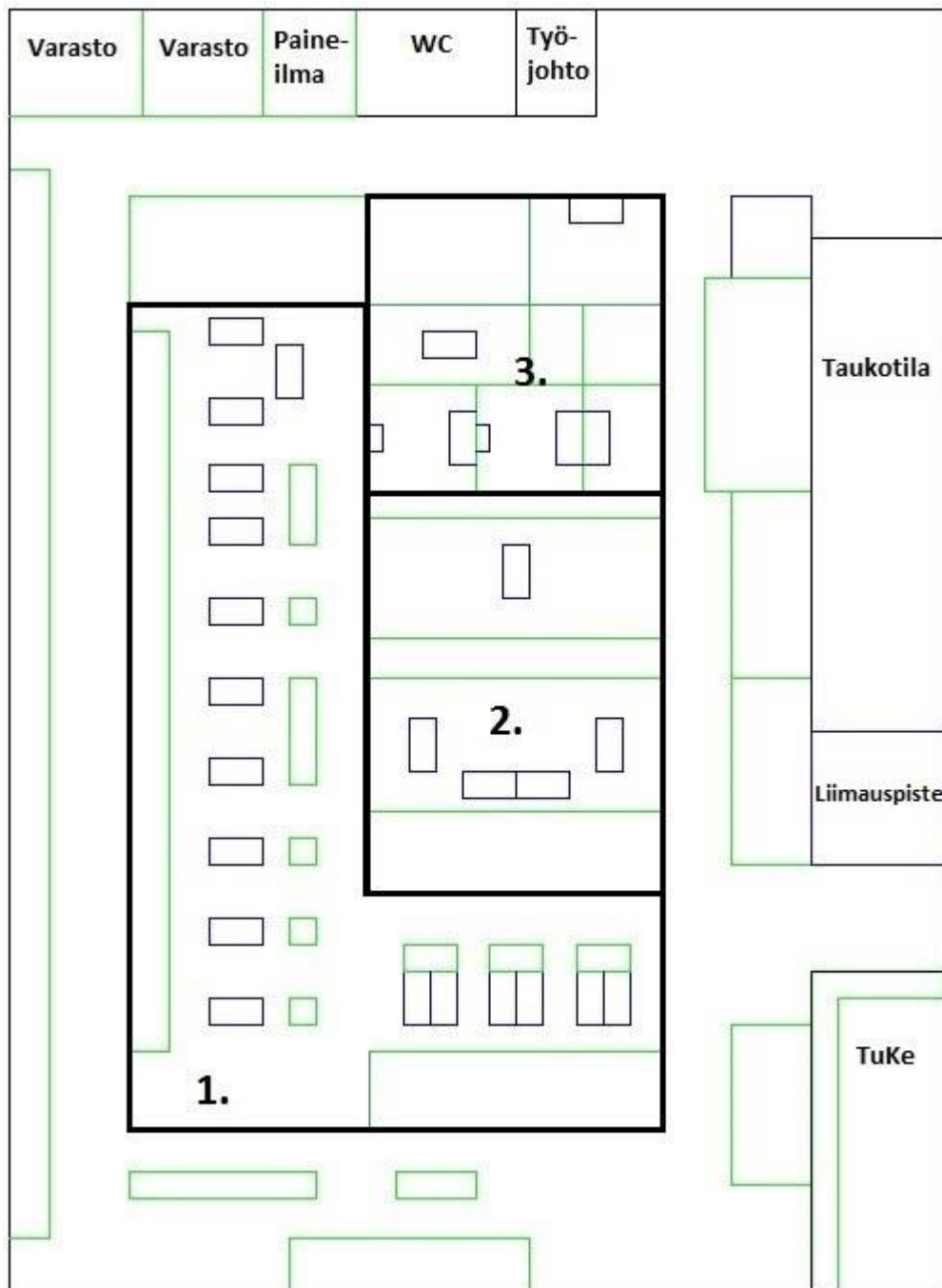


KUVA 3. Aavi Leafin valmistusprosessi

Tehtävänä oli suunnitella Aavi Leaf -tuotteen valmistukselle uusi layout. Koko tehtaan layout oli jaettu kahtia: toinen puoli Aavi Leaf -tuotteelle ja toinen Aavi 600-, 1000- ja 2000 -tuotteille sekä tuotekehitykselle. Käytettävissä oleva lattiapinta-ala oli suorakulmion muotoinen ja tavaran pääasiallinen liikesuunta oli edestakainen tehtaan toisesta päästä toiseen ja takaisin. Tehtaan varasto sijaitsi alkupäässä, jonka kautta saapuva tavara kulki. Vanhan tuotantolinjan ongelma oli, ettei sen

kapasiteetti vastannut haluttua tuotantomäärää, toisin sanoen kysyntää. Uudelta tuotantolinjalta odotettiin valmistusvolyymien kasvattamista, materiaalivirtojen kehittämistä ja puskurivarastojen vähentämistä.

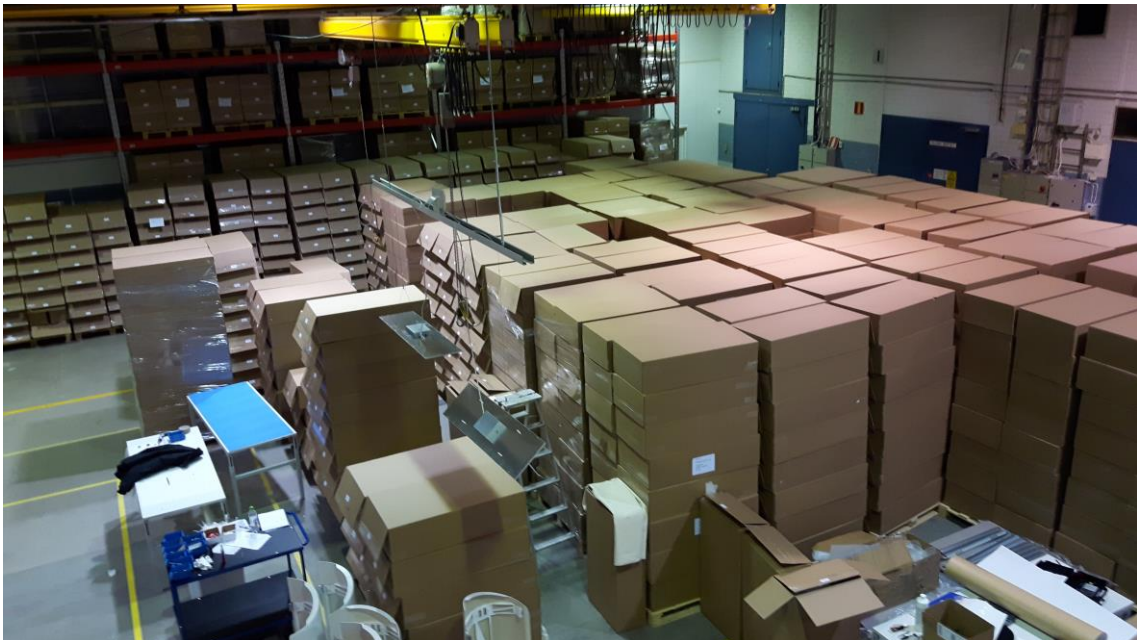
Alkuperäisen tuotantotilan layoutin (kuva 4) ongelma oli testausalue, joka muodosti pullonkaulakijän tuotantolinjalle. Testauksen muodostumisen suurimpana ongelmana oli sähkötesti, joka vei huomattavasti pitemmän ajan kuin oli arvioitu. Myös tuotteen edestakainen liike loi sekaannusta testausalueella. Vanhaa layoutia rajasi ainoastaan varaston ja kuormalavahyllyjen sijainti, joten muuten suunnittelu uudelle layoutille oli hyvin vapaata. Tuotantolinjan rajaus leveyssuunnassa oli toiselta puolelta taukuhuone ja toiselta kuormalavahyllyt. Pituussuunnassa taas alkupäässä oli varasto ja loppupäässä takaseinä. Kyseiselle rajatulle alueelle suunniteltiin uutta tuotantolinjan layoutia.



KUVA 4. Aavi Leaf alkuperäisen tuotantotilan layout: 1. osakokoonpanot 2. runko- ja loppukokoonpano 3. testaus ja pakkaus

Työstämisessä ilmeneviä hukkia olivat työkalujen lainaaminen, niiden etsiminen sekä puuttuminen. Työkalut olivat epäjärjestyksessä pöydillä tai hyllyillä, minkä takia työntekijöillä meni paljon aikaa etsiessä tarvittavia työkaluja. Nämä ongelmat toistuivat jokaisella työpisteellä.

Tuotteelle suunnattu varasto oli jaettu kahteen osaan. Varastointihukkaa ilmeni varaston koossa, kuljettamisessa, laskemisessa ja varmistamisessa sekä varastoituun materiaaliin sijoitetussa arvossa. Päävarastoon eivät mahtuneet kaikki varastoitavat materiaalit, joten toinen varasto oli perustettu Aavi Leafin tuotannon toiseen reunaan. Osien toimittaminen tapahtui erikokoisilla kuormalavoilla, joten varastoinnissa vaadittiin paljon kuormalavahyllytilaa. Suurien tilausmäärien vuoksi oli jouduttu tuotannon lattiapinta-alaa käyttämään huomattava määrä varastointiin (kuva 5). Varastot täyttyivät materiaaleista eikä visuaalista ohjausta saapuvalle tavaralle ollut, joten tästä syystä osa materiaaleista saattoivat unohtua laskuista. Jälkeenpäin varastoituja materiaaleja laskettiin uudelleen, kun niiden olemassaolo täytyi varmistaa. Tuotantotilassa ollut kuormalavahyllyn järjestys oli sekaisin, koska hyllytettävillä materiaaleilla ei ollut määrättyjä paikkoja luotu tietokantaan. Pientavarahyllyjä ei ollut työpisteillä, joten pientavaroiden säilytys vei suuren osan lattiapinta-alasta.



KUVA 5. Varastoitava materiaali täytti suuren osan tuotannon lattiapinta-alasta

3.1.1 Osakokoonpanot

Osakokoonpanoissa oli useita työpisteitä, joissa yhden komponentin kokoaminen oli jaettu kahteen tai kolmeen eri työvaiheeseen (kuva 4). Vaiheistaminen aiheutti tuotannon hidastumista, yliprosesointia ja uusien puskurivarastojen syntymistä linjastolle. Osakokoonpanot olivat sijoitettu testausalueen ja loppukokoonpanon ympärille, joten ne veivät suuren osan Aavi Leaf -tuotteelle varatusta lattiapinta-alasta. Tässä luvussa kuvaillaan osakokoonpanoista ainoastaan sähkökotelo ja kuorien

valmistus, koska muiden osakokoonpanojen painoarvo tuotantolinjan tehokkuuteen ei ollut merkittävä.

Työpisteiden ongelmaksi koitui osien välivarastointi. Kuormalavoilla oli perustettu välivarasto, jossa komponentit, johdot ja liitinosat sijaitsivat. Osat veivät suuren alueen lattiapinta-alasta eikä niitä ollut merkattu sijainneilla tai koodeilla. Tästä syystä työntekijöillä meni paljon aikaa osien hakemiseen välivarastosta sekä oikeiden osien löytämiseen.

Sähkökoteloja valmistettiin kahta eri mallia, basic ja mid, ja tarkoituksena oli aloittaa myöhemmin myös kolmannen version valmistus, jota kutsuttiin high:ksi. Sähkökotelo sisälsi 17 erillistä osaa, jotka tuotiin varastosta työpisteelle kuormalavoilla. Työpisteellä oli tarkoituksena rakentaa rungon ympärille sähkökotelo, joka ohjaa laitteen toimintaa.

Kuorien valmistuksesta ja maalauksesta vastasivat alihankkijat. Kuoria valmistettiin kahta eri väriä ja kolmatta värimallia suunniteltiin. Koska kuoria ei valmistettu itse, työpisteellä tarkistettiin pinnanlaatu, joka tehtiin ennen kalustamisen aloittamista. Kalustamisessa kuorien sisäpuolelle asennettiin tukiraudat, joiden avulla kuoret saatiin jäykistettyä ja voitiin asentaa runkoon. Kuorien kalustus sisälsi 14 osaa, jotka tuotiin kuormalavoilla varastosta työpisteelle.

3.1.2 Runko- ja loppukokoonpano

Runko- ja loppukokoonpano oli kokonaisuudessaan loppukokoonpanolinja, joka oli jaettu kahteen osaan. Tästä oli syntynyt runkokokoonpano ensimmäiseksi työvaiheeksi loppukokoonpanolinjalla. Runkokokoonpanossa tuotteeseen kiinnitettiin omassa tuotannossa valmistettu sähkökotelo, johdot sekä pieniä komponentteja, jotka palvelivat tuotteen kasaamista loppukokoonpanovaiheessa.

Loppukokoonpanossa tuote koottiin lopulliseen olomuotoonsa ilman kuoria. Siinä asennettiin viisi valmista osaa, jotka oli rakennettu joko omassa tuotannossa tai alihankkijan toimesta. Valmiit osat saattoivat sijaita 5–15 metrin päässä omalta työpisteeltään. Koska materiaalit sijaitsivat eri paikoilla, syntyi paljon liikehukkaa työntekijöiden kävellessä edestakaisin pitkiä matkoja. Loppukokoonpanossa liitettiin myös johdot ja niputettiin ne tuotteen yleisilmeen parantamiseksi. Kuvasta 6 nähdään, kuinka pieniä komponentteja haettiin kaukaa työpisteelle.



KUVA 6. Loppukokoonpano-työpisteellä käytettävät materiaalit varastoitu kauas työpisteeltä ja lattiapinta-alalle

Työntekijöiden työkalujen lainaaminen toisiltaan vei huomattavasti turhaa aikaa. Työkalujen lainaamisen takia työntekijöille syntyi luppoaikaa, joka synnytti odottamisen hukkaa. Työpisteen alku- ja loppupäässä olevat puskurivarastot täyttyivät ylituotannosta, koska mitään rajoitteita ei ollut tuotteen valmistamisessa.

3.1.3 Testaus ja pakkaus

Testausalue ja sen vieressä ollut kuorien asennus ja pakkaus olivat hajanaisia. Laite tuli loppukokoonpanosta ensimmäisenä sähkötestiin, josta läpäissyt tuote jatkoi vesitestin. Vesitestin läpäissyt tuote kuivattiin mekaanisesti käsin, minkä jälkeen se siirrettiin kuorien asennukseen. Kun kuoret oli asennettu, tuote pääsi viimeiseen testausvaiheeseen, ilmatestaukseen. Kokonaisuudessaan testausalueella tuote liikkui edestakaisin ja ristiin eri vaiheissa olevien tuotteiden kanssa (liite 1). Epälooginen tuotteen liike aiheutti sekaannusta laitteiden kesken, mikä taas hidasti testauksen toimivuutta.

Sähkötestissä oli tarkoitus ohjelmoida tuote ja tarkastaa sen sähkötoimintojen toimivuus. Sähkötesti oli suurin pullonkaulatekijä tuotantokapasiteetin kasvattamisessa. Tuotteen testaamista hidasti

sähkötestaajien puute ja heidän työrauhansa häirintä. Testaajat keskittyivät myös työohjeiden kirjoittamiseen sähkö- ja ilmatestille, joten varsinaiseen testaukseen jäi huomattavan vähän aikaa. Testin nopeutta ei itsessään ollut mahdollista nopeuttaa, muuten kuin työjärjestystä kehittämällä.

Vesitestissä oli tarkoitus tarkastaa laitteen vesipesun toimivuus ja sen jälkeen kuivata kollektori, ionisaattori ja alailmanohjain. Testaus toimi hyvin eikä sen kehittämisessä ollut tarvetta, mutta sen kuivaamisessa oli kehitettävää. Kuivaaminen tapahtui mekaanisesti käsin. Osat irrotettiin toisistaan, kuivattiin viileällä paineilmalla ja suurimman vedenpoiston jälkeen kiinnitettiin osat paikoilleen ja laitettiin tuotteen oma kuivaustoiminto päälle. Mekaanisella kuivauksella kuitenkin säästettiin noin 1 tunti, verrattuna siihen, jos tuote olisi kuivattu oma kuivaustoiminnolla.

Kun kuoret oltiin asennettu tuotteeseen, pystyttiin suorittamaan ilmatesti. Ilmatestin tarkoituksena oli saada selville, pystyykö tuote suoriutumaan luvatuista ilmansuodatus ja -virtaus kriteereistä. Kriteerit ilmansuodattamisen tehokkuudeksi oli $>97\%$ ja ilmanvirtaukselle $160\text{ m}^3/\text{h}$.

Pakkauksessa tuote paketoitiin pahvilaatikkoon, pannoitettiin, pinottiin kuormalavalle ja kelmutettiin, minkä jälkeen kuormalava siirrettiin valmiiksi lähtevien varastoon. Pakkauspiste oli hajaantunut tuotantolinjan loppupäähän. Ongelmia oli tilanpuutteessa ja pakkauksen alueessa. Kelmutuskone määrittä pakkausalueen sijainnin, mikä aiheutti vaarallisen risteyksen työntekijän kulkusuunnan ja käytävän välille. Valmiin tuotannon ja pakattujen tuotteiden paikkoja ei ollut määritelty, mikä aiheutti sekaannusta pakkausalueella.

3.2 Uuden tuotantolinjan ja työpisteiden suunnittelu PDCA-mallin mukaan

3.2.1 Suunnitelman tavoitteet ja haasteet (Plan)

Tuotantolinjalle määriteltiin tavoitteet ja niiden tärkeysjärjestys, joiden pohjalta uuden tuotantolinjan layoutia alettiin suunnittelemaan. Tavoitteiden ensisijaisuuden perusteella järjestys arvioitiin ajallisesti kriittisimpien vaatimusten näkökulmasta. Tämän jälkeen esitettiin vaihtoehtoisia tärkeysjärjestyksiä, joista valittiin lopullinen järjestys. Ennalta määritettyjen tavoitteiden ja niiden lopullinen tärkeysjärjestys muotoutui seuraavasti:

1. tuotantolinjan kapasiteetin kasvattaminen suhteessa kysyntään
2. pullonkaulatekijöiden eliminointi

3. sisälogistiikan uudelleensuunnittelu
4. materiaalivirtausten virtaviivaistaminen
5. läpimenoajan parantaminen
6. työturvallisuuden huomioon ottaminen.

Alkutilanteessa tuotannon kapasiteetti ei vastannut suhteessa kysyntään, joten sen kasvattaminen vaati työvaiheissa sisältyvien työpisteiden lisäämistä ja tätä mukaan lisähenkilöstön palkkaamista. Pullonkaulatekijöiden eliminoinnissa pyrittiin kapeikkoajattelumenetelmällä purkamaan heikkoudet ja rikkomaan ne. Sisälogistiikan uudelleensuunnittelussa oli pyrkimyksenä päästä eroon lattiapinta-alan käyttämisestä varastointiin ja luoda varastomiehille edellytykset täyttää ja purkaa kuormalavahyllykköä menekin mukaan. Koska tuotantotilassa oli hyvin paljon liike- ja kuljettamishukkaa, piti materiaalivirtaukset ja niiden virtaviivaistaminen ottaa huomioon työpisteiden sijaintien suunnittelussa. Läpimenoaikaa parannettiin oikea-aikaisella tuotevirtauksen suunnittelulla. Layoutiin implementoitiin imuohjausta sekä pyrittiin lähestymään one-piece flow'ta eräkokojen pienentämisellä. Työturvallisuuden suunnittelussa keskityttiin pääasiassa huomioimaan vaaralliset risteykset sekä materiaalien sijainti työpisteiden läheisyydessä.

Työpisteiden tavoitteiden ja tärkeysjärjestyksen määrittelyssä sovellettiin myös 5S-laatu työkalua. Layout-suunnittelussa 5S:llä voidaan parantaa visuaalista ohjausta, järjestystä, puhtautta ja standardisointia (12). 5S:n ja määritettyjen tavoitteiden mukaan tärkeysjärjestys muotoutui seuraavaksi:

1. liikehukan eliminointi
2. kuljettamishukan eliminointi
3. välivarastoinnin uudelleensuunnittelu.

Liikehukan eliminoinnilla layout-suunnittelussa oli tarkoituksena keskittyä työntekijöiden turhien liikkeiden poistamiseen. Kuljettamishukan eliminoinnilla taas pyrittiin suunnittelemaan layout siten, että työpiste, työalue ja varastojen sijainti olisi mahdollisimman virtaviivainen sekä aikaa säästävä materiaalien kuljettamisessa. Siinä otettiin myös huomioon esine- ja työkaluvarastojen sekä keskenäisen ja valmiin tuotannon sijainnit. Välivarastoinnin uudelleensuunnittelulla haettiin lattiapinta-alan käyttämisen minimoimista, kuten ilmatilaa hyväksikäyttäen.

Suunnittelun ensimmäinen ja suurin haaste oli tuotantomäärän kasvattaminen nykyiseen tuotantotilaan. Tuotantotila oli haastava sen pituuden takia, koska siihen tilaan ei ollut mahdollista suunnitella yhtä pitkää tuotantolinjaa, jonka ympärillä tuote koottaisiin. Pullonkaulatekijöiden eliminoinnin haasteena oli testauspaikkojen lisääminen nopealla aikataululla. Testauspaikkojen lisääminen vaati resursseja uusiin laitehankintoihin ja laitteiden vaatiman ammattipätevän henkilöstön lisäpalkkaamista tai olemassa olevien henkilöstön kouluttamista. Sisälogistiikan uudelleensuunnittelun haasteena oli saada varastointitilan maksimaalinen kapasiteetti käyttöön. Uudelleensuunnittelu vaati varastomiesten mukaan osallistumista, jotta tavoitteisiin oli mahdollista päästä. Materiaalivirtauksien virtaviivaistaminen ja läpimenoajan parantaminen eivät tuoneet suuria haasteita suunnittelussa, koska suurimpiin ongelmiin pystyttiin välittömästi reagoimaan ja niiden tila koheni sitä mukaan, kun edellä mainitut tavoitteet oli suunniteltu. Työturvallisuus toi haasteita muun muassa trukikiliikenteen ja jalankulkijoiden synnyttämissä risteyskohdissa.

3.2.2 Toteutus (Do)

Parantaville toimenpiteille suunniteltiin järjestys, jonka mukaan layouteja suunniteltiin:

1. varastomateriaali
2. pakkaus
3. testausalue
4. kuorien asennus
5. korjaus ja reklamaatio
6. loppukokoonpano
7. runkokokoonpano
8. osakokoonpanot.

Suunnittelun toteutus aloitettiin lattiapinta-alan täyttämistä varastomateriaalista. Nopeana ja tilansuunnittelua helpottavana ratkaisuna varastoitavalle materiaalille vuokrattiin lisätila tehtaan ulkopuolelta, jolla mahdollistettiin lattiapinta-alan tehokas käyttöönotto. Jokaiselle varastoitavalle materiaalille suunniteltiin paikka, jonne ne tulisi sijoittaa aina tuotantotilaan saapuessa. Saapuvan materiaalin määrä ja koko määräisivät sille suunnitellun paikan. Aavi Leaf -tuotteen rungoille, sähkökoteloidille ja kuorille varattiin layoutista tila sen varastoinnille, koska suuren koon takia niitä ei kuormalavahyllyille kannattanut varastoida. Loput materiaalit pääasiassa varastoitiin kuormalavahyllyk-

köön. Työpisteille suunniteltiin pientavarahyllyt, jotta lattiapinta-alaa saataisiin hyötykäyttöön. Pientavarahyllyjen täyttäminen suoritettiin pääosin kuormalavahyllyistä ja osa suoraan saapuvan materiaaleista varastosta.

Seuraavaksi tuli vuoroon pakkaus. Koska pakkaus oli aiemmin suunniteltu osaksi testausta, päätettiin se siirtää eroon testauksesta ja näin saatiin lisää tilaa tuotantotilalle sekä poistettua ylimääräistä sekasortoa. Pakkaukselle löydettiin paikka päävaraston vierestä, mistä pakatut laitteet pystyttiin suoraan siirtää lähteviin tavaroihin ja sitä mukaan varaston kautta maailmalle.

Testauspisteet olivat rinnakkain ja niiden järjestys oli epämääräinen. Testausalue päätettiin hajottaa, jotta tuotteen liikettä voitiin virtaviivaistaa ja alueen yleisilmettä parantaa. Koska sähkötesti oli muodostunut pullonkaulatekijäksi, sen eliminointi vaati työpisteiden määrän kasvattamisen. Vesitestialue ja sen prosessi suunniteltiin uusiksi. Vesitestialue suunniteltiin siten, että laitteet testattiin ja kuivattiin samalla paikalla, minkä jälkeen ne siirtyivät seuraavaan vaiheeseen. Vesitestiprosessia myös muutettiin siten, että oli mahdollista testata useampi tuote yhtä aikaa eikä yksi kerrallaan, kuten aikaisemmin oli toimittu. Ilmatesti irrotettiin sähkö- ja vesitesti alueesta erilleen. Tuotteen liikkeen virtaviivaistamiseksi ilmatestausta siirrettiin lähelle pakkausta, koska valmis tuote piti saada nopeasti pakettiin ja lähteviin tavaroihin. Pakkauksen uudelle alueelle siirretty kuormalavan kelmuskone jätti tyhjän tilan, johon ilmatestausta lopulta päätettiin sijoittaa.

Kuorien asennus oli alkutilanteessa uusi työvaihe, joten sen sijainti oli syntynyt itsestään. Kuorien asennuksen optimaalinen sijainti oli vesi- ja ilmatestin välissä. Kuorien asennusalueelle suunniteltiin aiempaa aluetta enemmän tilaa, jotta siinä mahtuisi useampi työntekijä työskentelemään. Tuotteen liike kuorienasennuksen läpi suunniteltiin myös siten, että liike- ja kuljettamishukkaa saataisiin minimoitua.

Virrehukasta ei ole mahdollista päästä täysin eroon, joten layoutiin päätettiin suunnitella korjaustyöpiste sekä alue reklamoitaville materiaaleille. Korjaustyöpiste suunniteltiin lähelle testauksia, koska testauksissa virheellinen tuote aina tunnistettiin. Korjauspisteeltä on myös lyhyt matka takaisin testauksiin, joten kuljettamishukka oli suunniteltu minimaaliseksi. Reklamoitavien materiaalien keskittäminen yhdelle alueelle auttaa työpisteiden siisteydessä sekä estää virheellisten materiaalien käyttämistä prosessissa. Tarkoitus olisi, etteivät reklamoitavat materiaalit jää työpisteille ja tällä tavalla sekoittaisi prosessia.

Loppu- ja runkokokoonpanon sijainti pysyivät ennallaan, eli ennen testauksia. Loppu- ja runkokokoonpanon työvaiheiden kutsuminen päätettiin selkeyttämisen takia muuttaa loppukokoonpanoksi. Loppukokoonpanon työvaiheiden tasapainottamisessa ja tuotantomäärän kasvattamisessa syntyi kaksi versiota, jotka toteutettiin kahteen eri layout-malliin. Ensimmäinen versio oli pitää loppukokoonpano ennallaan eli jaettuna kahteen työvaiheeseen ja kasvattaa työntekijöiden määrää 100 %:lla. Toinen versio oli jakaa loppukokoonpano neljään vaiheeseen ja kasvattaa työntekijöiden määrää 60 %:lla. Loppukokoonpanoalueelle suunniteltiin pientavarahyllyt ja FIFO-metodilla toimivat välivarastot, joilla estetään ylituotantohukan syntyminen.

Osakokoonpanoja yhdistettiin toisiinsa, jotta työvaiheita vähenisi eikä työvoimaa tarvittaisi niin paljon. Työpisteet suunniteltiin siten, että osakokoonpanoista tuli oma solu, joka palveli loppukokoonpanoa. Osakokoonpanojen työpisteistä tehtiin pöytäryhmiä tilan säästön vuoksi sekä työpisteet sijoitettiin loppukokoonpanolinjan tarpeen mukaisesti.

3.2.3 Tarkastelu (Check)

Suunnitellun varastomateriaalin uudelleenjärjestelyn ansiosta materiaaliliikkeet virtaviivaistuivat ja tuotantotilaa saatiin tehokkaasti takaisin hyötykäyttöön. Suunnitellut varastopaikkojen sijainnit layoutissa auttoi työntekijöitä löytämään nopeammin etsimänsä materiaalit sekä nopeutti varastomiesten työskentelyä varastoja täyttäessä ja tyhjentäessä. Pientavarahyllyjen sijoittaminen työpisteisiin vähensi huomattavasti työntekijöiden liikkumishukkaa. Esimerkiksi aikaisemmin työntekijä saattoi kävellä pitkän matkan hakemaan pienkomponentteja, kun nyt pienkomponentit löytyivät muutaman askeleen päästä tai käsien ulottuvilta.

Pakkaus haluttiin saada erilleen tuotannosta. Sen irrottaminen testausalueesta ja siirtäminen lähemmäs päävarastoa selkeytti tuotannon ja pakkauksen erilleen. Irrottamalla testausalueesta pystyttiin imuohjausta ottamaan käyttöön tuotannossa. Toimenpide paransi myös visuaalista ohjausta ja virtaviivaisti tuotevirtausta.

Testauksen hajottaminen kasvatti tuotteiden läpimenoa 10-kertaiseksi ja virtaviivaisti tuotteen liikettä alueella (liite 2, liite 3). Sähkötestiin lisättiin toinen ja kolmas sähkötestauspaikka, jolloin muuta tuotantoa saatiin kurottua kiinni ja päästiin haluttuun tuotantomäärään. Sähkötestin läpi-

meno kasvoi aluksi kaksinkertaiseksi ja lopulta kuusinkertaiseksi verrattuna alkuperäiseen määrään. Vesitestialuetta laajennettiin ja aluksi siihen suunniteltiin kuivausparkki, jossa testatut laitteet voitaisiin kuivattaa erillään testatuista tuotteista. Kuivausparkki päätettiin kuitenkin myöhemmin poistaa suunnitelmista, koska se loi ylimääräistä kuljettamishukkaa tuotteita siirreltäessä testauksesta kuivaukseen ja kuivauksesta seuraavaan vaiheeseen. Vesitestialueen ja -prosessin kehittäminen kasvatti tuotteiden läpimenoa kuusinkertaisesti.

Korjaustyöpisteen luominen tuotantoprosessiin poisti virheellisten tuotteiden säilyttämisen työpisteillä, eivätkä virheelliset tuotteet synnyttäneet välivarastoa jokaiselle erilliselle työpisteelle. Virheellisten tuotteiden syistä ja lukemista pysyttiin paremmin selvillä uuden työpisteen ansiosta. Reklamaatioalueen perustaminen auttoi sekä uusia että vanhoja työntekijöitä pääsemään nopeammin eroon virheellisistä materiaaleista eli reklamoitavista. Reklamoitavien materiaalien läpikäyminen sekä niiden uudelleenohjaus reklamointialueelta auttoi huomattavasti työnjohtajia.

Loppukokoonpanon uudelleenjärjestely kehitti visuaalisesti tuotantoa sekä tuotteen virtaussuunnat virtaviivaistuivat. Pientavarahyllyt lisäsivät lattiapinta-alan hyötykäyttöä ja nopeuttivat työntekijöitä tavaroiden etsimisessä. FIFO-metodilla toimivat välivarastot vähensivät keskeneräisen tuotannon kokoa noin 50-kertaisesti. Toimenpide laski huomattavasti keskeneräisen tuotannon varastoarvoa sekä työtä ja aikaa, jota varaston laskemiseen käytettiin.

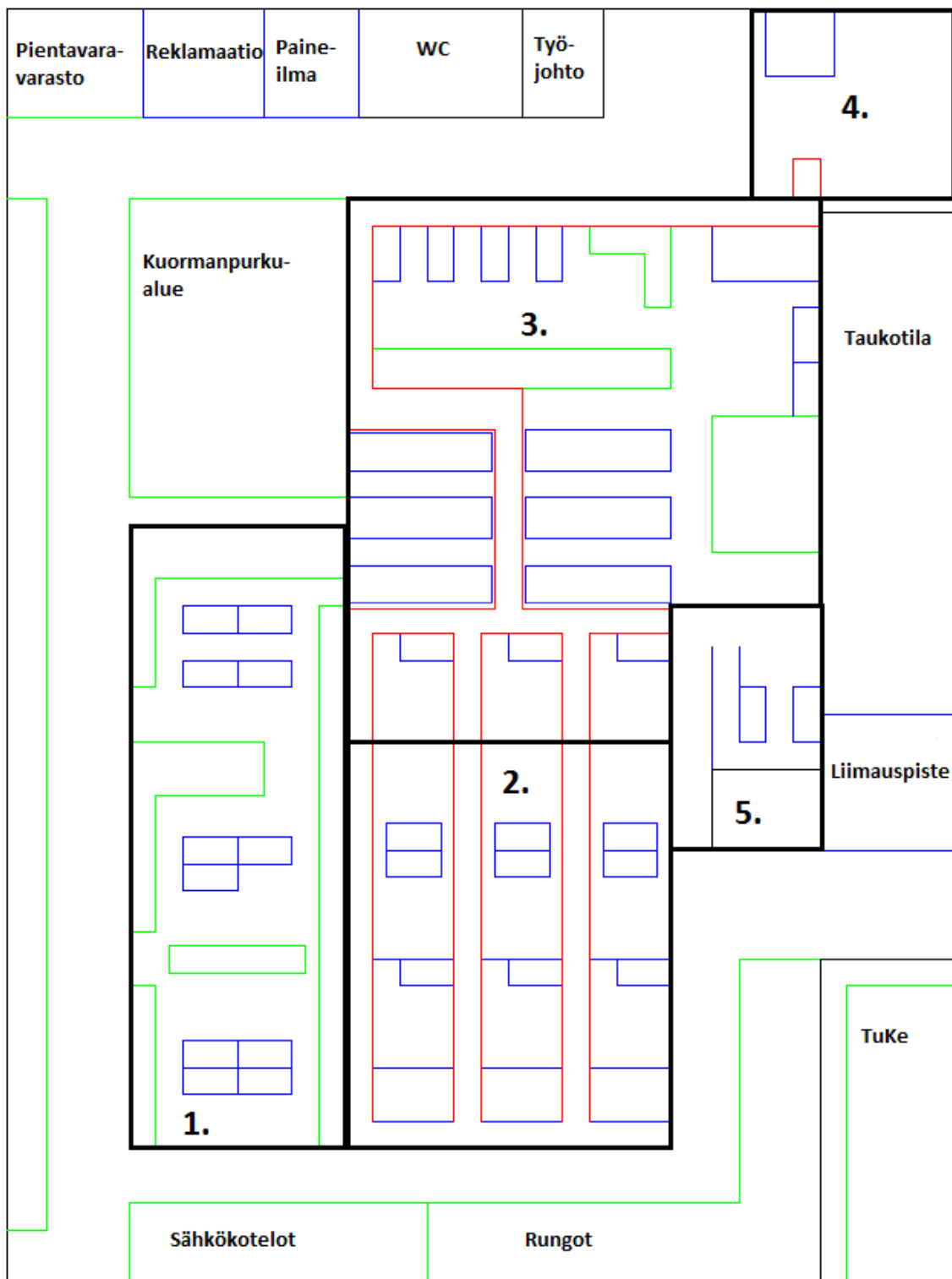
Osakokoonpanojen siirtäminen tuotantotilan sivuun palvelemaan loppukokoonpanolinjaa auttoi prosessien erottamista toisistaan. Toimenpiteen ansiosta pystyttiin reagoimaan nopeammin kuin aikaisemmin, kun osakokoonpano vastasi omasta toiminnastaan ja loppukokoonpano omastaan. Osakokoonpanot pysyivät myös paremmin tuotantovauhdissa mukana, kun ne oli sijoitettu loppukokoonpanolinjan tarpeen mukaisesti ja työvaiheita oli yhdistetty.

3.2.4 Layout-mallit (Act)

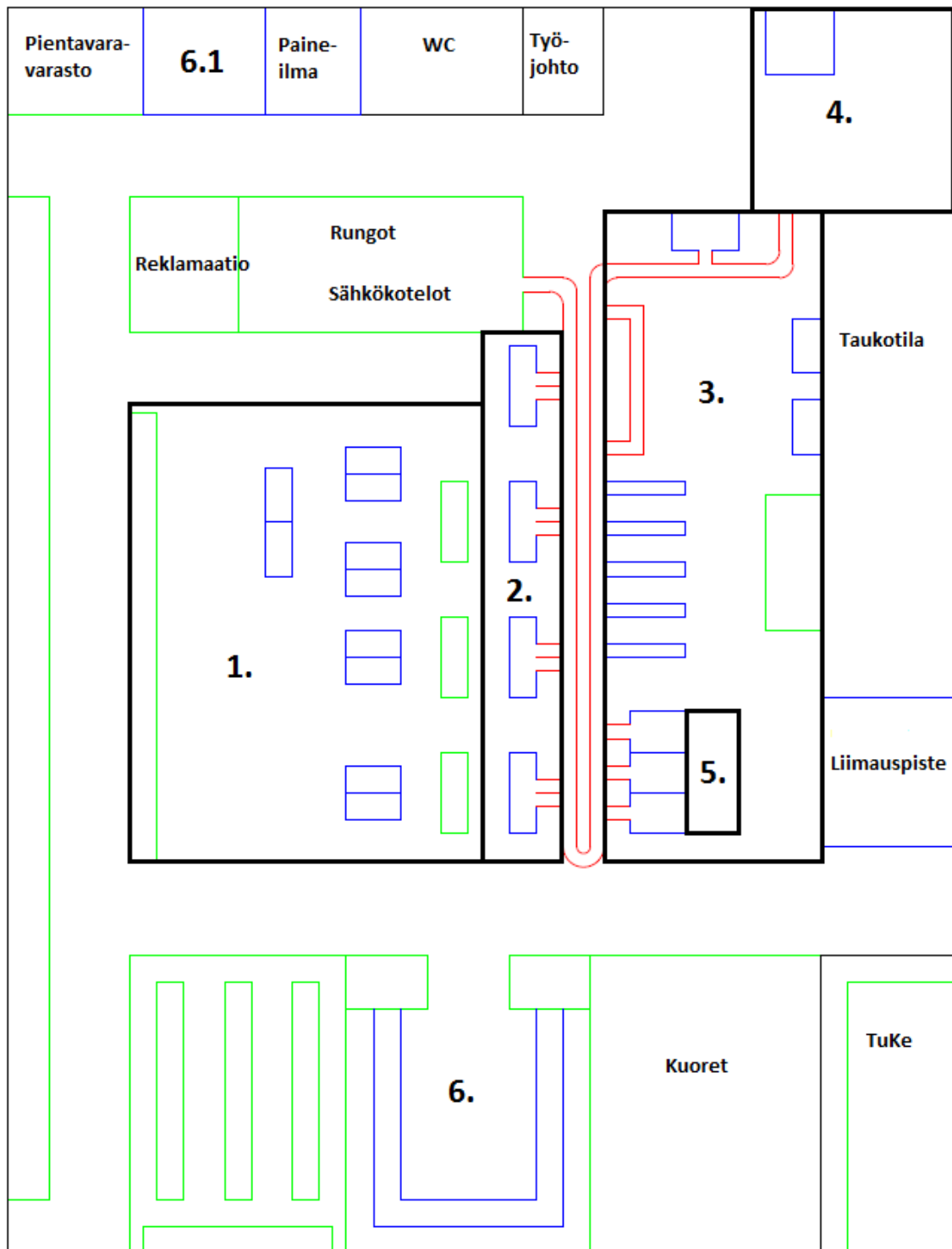
Työssä suunniteltiin kaksi eri layout-mallia, jotka oli mahdollista toteuttaa Aavi Leaf -tuotteen tuotantotilaan. Ensimmäinen layout-malli A (kuva 7), suunniteltiin nykyisen tuotantotila-mallin kehittämiseksi ja toinen layout-malli B (kuva 8), esisuunniteltiin tulevaisuuden varalle mahdolliselle rullaradalle. Prosessit numeroitiin seuraavasti layout-malleihin:

1. osakokoonpanot

2. loppukokoonpano
3. testausalue
4. pakkaus
5. korjaus
6. uusi osakokoonpano ja 6.1 varattu tila osakokoonpanon jatkoprosessoinnille (Layout-malli B:ssä).



KUVA 7. Aavi Leaf tuotantotilan layout-malli A: 1. osakokoonpanot, 2. loppukokoonpano, 3. testaus ja kuorien asennus, 4. pakkaus, 5. korjaus



KUVA 8. Aavi Leaf tuotantotilan layout-malli B: 1. osakokoonpanot, 2. loppukokoonpano, 3. testaus ja kuorien asennus, 4. pakkaus, 5. korjaus. 6. osakokoonpano x (6.1 osakokoonpano x jatko-
sessointi)

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli uuden tuotantolinjan ja työpisteiden kehittäminen Aavi Technologies Oy:lle. Tuotantolinjan tehokkuus on hyvin tärkeä osa tuotteiden valmistamisessa. Sen täytyy vastata tuottovaatimuksia, ja siksi tuotantolinjan ja työpisteiden suunnittelu on erityisen tärkeää tuotantoprosessia määriteltäessä.

Tavoitteena oli suunnitella tuotantolinjalle ja työpisteille uusi tehokas toimintapa, jolla päästäisiin tuotantovaatimuksiin. Työssä kartoitettiin tuotantotilan nykytilanne, jonka kautta suurimmat ongelmat saatiin selville. Kartoituksen jälkeen siirryttiin ongelmanratkaisuvaiheeseen. Ongelmien ratkaisemisessa oli oleellista ottaa huomioon materiaalivirtaukset, varastointi ja läpimenoajan määrittäminen. Kun oli selvitetty vaadittavat ratkaisut ongelmien poissulkemiseksi, oli mahdollista aloittaa layout-suunnittelu, joka osoittautui haastavammaksi kuin alussa olin oletanut. Layout-suunnittelussa pyrittiin etenemään askel kerrallaan, jotta työ sujui juohevammin. Layoutin tärkeimmiksi tavoitteiksi määriteltiin tuotantolinja, joka mahdollisti tuotantokapasiteetin kasvattamisen, pullonkaulatekijöiden eliminoinnin ja sisälogistiikan uudelleensuunnittelun.

Nykytilanteen kartoituksen avulla saatiin selville tuotantolinjan suurin pullonkaulatekijä, joka oli sähkötesti. Sähkötesti ei pysynyt muun tuotannon vauhdissa mukana, ja se vaati välittömiä toimenpiteitä. Välittöminä toimenpiteinä lisättiin toinen ja kolmas sähkötestauspaikka. Tuotanto saatiin kaksinkertaistettua ja lopulta kuusinkertaistettu alkuperäiseen verrattuna. Kartoituksessa ilmeni myös ongelma varastoitavan materiaalin hallinnassa, koska varastomateriaali täytti suuren osan tuotannon lattiapinta-alasta. Ongelmaan löydettiin välitön ratkaisu. Ylimääräinen varastomateriaali siirrettiin väliaikaisesti vuokratulle hallitilalle, jotta tuotantotilaa saatiin hyötykäyttöön. Lisäksi työpisteiden läheisyyteen rakennettiin pientavarahyllyt, jotka vähensivät kuormalavatavaran määrää. Sisälogistiikan uudelleensuunnittelulla saatiin poistettua paljon liikehukkaa, mutta sen kehittäminen lean-ajattelutavan mukaiseksi vaatii huomattavasti lisää aikaa ja panostusta.

Lean-ajatteluteoria auttoi tuotantoa kehittymään kohti kustannustehokasta ja kevyempää tuotantolinjaa. Kapeikko-ajattelu ja hukkatoimintojen määrittäminen sai suunnittelemaan työvaiheita ja -prosesseja uudella tavalla. Teorian pohjalta päästiin käytännössä tarkastelemaan toimintoja, jotka tuottivat arvoa asiakkaille, sekä hukkatoimintoja, jotka eivät tuottaneet arvoa asiakkaille. Lean-ajattelussa jatkuva parantaminen tuli selville työn aikana, koska tuotantoa kehittäviä toimintoja pyrittiin

implementoimaan jatkuvasti. Jatkuva parantaminen tulee olemaan olennainen osa tuotannon kehittämisen tulevaisuudessakin, jotta päästään lähemmäs kohti lean-ajatteluun kuuluvia one-piece flow'ta ja 5S:ää. Tuoteliikkeen virtaviivaistaminen ja oikea-aikaisuuden suunnittelu lean-ajattelun avulla opetti, kuinka prosessien muuttaminen vaikuttaa kokonaisuuteen ja samalla auttaa työntekijöiden toimintaa vähentämällä turhaa työtä.

Opinnäytetyön pohjalta tuotantolinjaa voidaan kehittää jatkuvan parantamisen metodilla. Tuotannossa kehitettäviä kohteita tulevaisuudessa ovat päävaraston ja sen hyllyjärjestyksien suunnittelu kohti kevyttä ja tehokasta varastoa, visuaalinen tuotannonohjaus tuotteelle ja sen tukitoiminnoille, 5S:n implementointi kokonaisuudessaan työpisteille ja rulla- tai kiskoradan suunnittelu tuotantotilaan.

LÄHTEET

1. Russell, Roberta S. - Taylor III, Bernard W. 2011. Operations Management. 7th edition. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
2. Haverila, Matti – Lahtinen, Antti – Haverila, Mikko 2003. Teollisuustalous 4. painos. Tampere: Tammer-paino Oy.
3. AAVI Tuotteet. Helsinki: Aavi Technologies Oy. Saatavissa: <http://www.aavi-tech.com/fi/tuotteet/>. Hakupäivä 30.1.2017.
4. AAVI nykypäivänä. Helsinki: Aavi Technologies Oy. Saatavissa: <http://www.aavi-tech.com/fi/aavi-technologies-ltd/aavi-nykypaivana/>. Hakupäivä 30.1.2017.
5. Womack, James – Jones, Daniel 1990. The Machine that Changed the World. New York: Macmillan.
6. Ritvanen, Virpi – Inkiläinen, Aimo – von Bell, Anders – Santala, Jouko 2011 Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.
7. Miltenburg, John 2001. U-shaped production lines: A review of theory and practice. International Journal of Production Economics.
8. Rother, Mike – Shook, John 2009. Learning to See. Cambridge: Lean Enterprise Institute Inc.
9. The Benefits of Lean Manufacturing: Single Piece Flow. Gembutsu Consulting. Saatavissa: <http://www.gembutsu.com/articles/leanmanufacturingprinciples.html>. Hakupäivä 6.3.2017.
10. The Theory of Constraints And Drum-Buffer-Rope. Goldratt UK. Saatavissa: http://www.goldratt.co.uk/resources/drum_buffer_rope/index.html. Hakupäivä 6.3.2017.
11. Johnson, Corinne N. 2016. The Benefits of PDCA. Quality Progress: Pro Quest

12. What is 5S. 2015. Kaizenworld. Saatavissa: <http://www.kaizenworld.com/what-is-5s.html>. Hakupäivä 8.3.2017.
13. Using the Steps for Red Tagging. Enna Products Corporation. Saatavissa: <https://enna.com/learning-center/using-the-steps-for-5s-red-tagging>. Hakupäivä 9.3.2017.
14. Intrieri, Chuck. 2013. What is 5S? An Explanation of the Elements of 5S for a Lean Culture. Cerasis. Saatavissa: <http://cerasis.com/2013/09/30/what-is-5s>. Hakupäivä 10.3.2017.
15. Poka Yoke. 2015. Leanman. Saatavissa: <http://leanmanufacturingtools.org/494/poka-yoke>. Hakupäivä 8.3.2017.
16. Tuotannon layout. Helsinki. Logistiikan Maailma. Saatavissa: http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tuotannon_layout. Hakupäivä 13.2.2017.

